

# Inspanningsparameters bij gezonde Nederlandse kinderen

## SAMENVATTING

Het doel van deze studie is het beschrijven van aërobe inspanningsparameters van 50 gezonde Nederlandse kinderen tussen de 8 en 16 jaar oud (27 jongens en 23 meisjes). Tijdens de maximale fietsergometrie werden de zuurstofopname, de koolstofdioxideafgifte, het vermogen, de hartfrequentie, het ademminuutvolume en de respiratoire exchange ratio geregistreerd. Uit de resultaten bleek dat de maximale zuurstofopname, het maximale vermogen, de zuurstofpols en het maximale ademminuutvolume significant toenamen, naarmate gewicht, lengte en leeftijd toenamen. Het hartfrequentieherstel nam juist af. De maximale hartfrequentie, zuurstofopname per kilogram lichaamsgewicht en de respiratoire exchange ratio bleven constant. Op antropometrisch gebied vertoonden meisjes een significant hogere body mass index dan jongens. Geconcludeerd kan worden dat aërobe inspanningsparameters bij gezonde Nederlandse kinderen voorspeld kunnen worden aan de hand van gewicht, lengte, leeftijd en geslacht. ■

## SUMMARY

The aim of this study is to describe aerobic exercise parameters of 50 healthy Dutch children between the age of 8 and 16 years old (27 boys and 23 girls). During maximal cycle ergometry, oxygen consumption, carbon dioxide production, power, heart rate, breath-by-breath minute ventilation and respiratory exchange ratio were measured. The results show that maximal oxygen consumption, maximal power, oxygen pulse and the maximal breath-by-breath ventilation increased significantly, when weight, height and age increased, whereas heart rate recovery decreased. Maximal heart rate, oxygen consumption corrected for weight and respiratory exchange ratio remain constant. Girls had higher values for body mass index than boys. It can be concluded that factors like weight, height, age and gender can predict aerobic exercise parameters.

TREFWOORDEN: AÉROBE INSPANNINGSPARAMETERS, REFERENTIEWAARDEN, MAXIMALE ZUURSTOFOPNAME, MAXIMALE HARTFREQUENTIE, ZUURSTOFFOLDS, ADEMMINUUTVOLUME

De maximale zuurstofopname ( $VO_2$ max) is de beste voorspeller van de aërobe fysieke fitheid bij volwassenen en kinderen en kan het meest nauwkeurig bepaald worden met een maximale aërobe inspanningstest met toenemende belasting tot uitputting, uitgevoerd op zeeniveau.<sup>1,3,23</sup> Naarmate kinderen ouder worden veranderen de fysiologische inspanningskarakteristieken; het aërobe uithoudingsvermogen verbetert substantieel tijdens de kinderjaren.<sup>1,3,19,22</sup> De maximale zuurstofopname per kilogram lichaamsgewicht ( $VO_2$ max/kg, relatieve  $VO_2$ max) blijft vrijwel onveranderd tijdens de groei en ontwikkeling tot jong volwassenen.<sup>13,22</sup>

Het maximale aërobe vermogen wordt in de klinische praktijk gezien als een belangrijke parameter voor diagnose en evaluatie bij kinderen en volwassenen met chronische ziekten.<sup>26</sup> Om het aërobe vermogen van een kind te kunnen

beoordelen zijn referentiewaarden nodig van gezonde kinderen. De bestaande referentiewaarden zijn echter niet altijd representatief voor de Nederlandse jeugd anno 2004.<sup>3,4,9,12</sup> Deze referentiewaarden zijn namelijk 20 jaar geleden opgesteld uit een random selectie uit Nijmeegse kinderen.<sup>3,4,12</sup> Daarnaast is ook de technologie om de zuurstofopname te meten in de afgelopen 20 jaar veranderd. Een groot gedeelte van de gegevens uit de Nijmeegse studie werd nog verzameld met Douglas-bags, terwijl het andere deel van de kinderen werd getest met een van de eerste automatische Jaeger-Oxycon systemen.<sup>12</sup> Na afloop van de tests zijn de waarden die gemeten waren met behulp van de Jaeger-Oxycon 'gecorrigeerd' zodat de twee methoden vergelijkbaar werden. Verder zijn in de Nijmeegse studie alleen jongens en meisjes in de leeftijd tussen 12 en 18 jaar getest tijdens maximale fietsergometrie. De jongere kinderen (<12 jaar) werden op een lopende band getest volgens het Bruce-protocol.<sup>4</sup> Hierdoor bestaan er geen Nederlandse referentiewaarden voor fietsergometrie bij jongere kinderen. Cooper ontwikkelde ook ongeveer 20 jaar geleden referentiewaarden voor Amerikaanse kinderen tussen 6 en 17 jaar.<sup>9</sup> Hij stelde de referentiewaarden op basis van lichaamsgewicht op. Door de wereldwijde toename van obesitas bij kinderen is het de vraag of deze normwaarden nog wel geldig zijn.

In dit artikel wordt dan ook geprobeerd een zo uitgebreid mogelijk overzicht te geven van de veranderingen van de belangrijkste aërobe parameters naarmate gewicht, lengte en leeftijd toenemen. Het doel van dit onderzoek is het beschrijven van de aërobe inspanningsparameters voor gezonde kinderen die in de sportklinische praktijk gebruikt kunnen worden als referentie bij de evaluatie van inspanningstests.

## METHODEN EN PROEFPERSONEN

Aan deze studie namen 50 gezonde Nederlandse kinderen tussen de 8 en 16 jaar deel, te weten 27 jongens en 23 meisjes met een gemiddelde leeftijd van respectievelijk 12,0 en

12,7 jaar en een standaarddeviatie van respectievelijk  $\pm 2,3$  en  $\pm 2,7$  jaar. Van elke leeftijd deden in ieder geval één jongen en één meisje aan de studie mee. De deelnemers waren familie of bekenden van medewerkers van het Wilhelmina Kinderziekenhuis in Utrecht of waren afkomstig van lokale fietsclubs. Geen van de kinderen had een bekend gezondheidsprobleem. Negenendertig van de 50 kinderen beoefenden een competitieve sport (gemiddeld 3,6 respectievelijk 1,7 uur per week). Dertien kinderen beoefenden de wielersport, zes deden aan hockey, vijf aan voetbal, vier aan judo, twee aan badminton en de overige kinderen een andere sport of duursport. Van de andere elf kinderen (met name de jongere kinderen) gaven de ouders aan dat zij eveneens fysiek actief waren (op de fiets naar school en/of regelmatig buitenspelen).

De ouders van de kinderen ondertekenden het 'informed consent' formulier, waarin zij aangaven dat de kinderen vrijwillig deelnamen aan de studie. Alle kinderen namen regelmatig deel aan fysieke activiteiten of sportactiviteiten. Het onderzoeksprotocol was goedgekeurd door de Medisch Ethische Commissie van het UMC-Utrecht.

**Antropometrie**

Voor aanvang van de maximale inspanningstest werden lichaamsgewicht en lichaamslengte gemeten met behulp van een elektronische weegschaal en een meetlat voor lichaamslengte.<sup>11</sup> De 'Body Mass Index' (BMI) werd berekend met de volgende formule: lichaamsgewicht/lichaamslengte.<sup>2</sup> Daarnaast werd de lichaamssamenstelling bepaald door de som te nemen van de dikte van zeven verschillende huidplooien ( $\Sigma$ 7HP; mm) (biceps, triceps, subscapulaire, supraillacaal, midabdominaal, midden kuit en dij) volgens de methode van Pollack et al.<sup>19</sup> Tabel 1 laat de antropometrische karakteristieken van de onderzochte populatie zien.

Variabelen	Gewicht (kg)	Range	Gemiddelde	SD
Jongens	Lengte (m)	24,1 - 66,5	42,4	12,1
	SDS-score gewicht voor lengte	1,29 - 1,91	1,56	0,15
	Leeftijd (jaren)	-1,72 - 3,3	0,008	1,23
	$\Sigma$ 7HP (mm)	7,9 - 16,8	12,0	2,3
	BMI (kg.m <sup>-2</sup> )	44 - 175	72,2	28,9
Meisje	Gewicht (kg)	13,8 - 21,3	17,1	2,0
	Lengte (m)	28,2 - 81,7	48,4	14,4
	SDS-score gewicht voor lengte	1,39 - 1,79	1,58	0,13
	Leeftijd (jaren)	-1,33 - 2,72	0,34	1,16
	$\Sigma$ 7HP (mm)	8,4 - 16,6	12,7	2,7
	BMI (kg.m <sup>-2</sup> )	45 - 173	100,7	35,9
		14,6 - 25,5	19,0	2,8

Legenda:  $\Sigma$ 7HP: som van de 7 huidplooien, BMI: body mass index; SDS: standaarddeviatiescore.

Tabel 1. Antropometrische karakteristieken van de onderzochte populatie.

**Maximale inspanningstest**

Alle deelnemers voerden een maximale inspanningstest uit op een elektronisch geremde fietsergometer (Lode Examiner, Lode BV, Groningen, Nederland). De zadelhoogte werd aangepast aan de beenlengte. De weerstand van de ergometer werd elke minuut opgevoerd met 20 Watt, totdat de proefpersoon het fietsen niet meer vol kon houden. Tijdens de inspanningstest werden de kinderen aangemoedigd. Een objectieve maat die gebruikt werd voor het bereiken van totale uitputting, was het behalen van een respiratoire exchange ratio (RER) boven de 1,0 en een maximale hartfrequentie boven 180 slagen per minuut. De kinderen ademden tijdens de test door een masker (Hans Rudolph Inc, USA) dat via een tripleV vaatje aangesloten was op een gekalibreerd gasanalyse systeem (Oxycon Champion, Jaeger, Viasys, Bülthoven, Nederland). Expiratoire ademgassen werden teug-bij-teug geanalyseerd via het Jaeger-Oxycon softwareprogramma (Windows 95, Jaeger, Viasys, Bülthoven, Nederland). De volgende parameters werden continue geregistreerd: zuurstofopname ( $VO_2$ ; mL.min<sup>-1</sup>), koolstofdioxide afgifte ( $VCO_2$ ; mL.min<sup>-1</sup>), ademminuutvolume ( $VE$ ; L.min<sup>-1</sup>) en de respiratoire exchange ratio (RER; de verhouding  $VCO_2$  en  $VO_2$ ). Tijdens de gehele test en een minuut lang na afloop van de maximale inspanningstest werd de hartfrequentie (HF; slagen.min<sup>-1</sup>) met behulp van een driekanaals ECG-signaal geregistreerd.

Variabelen	$VO_{2,max}$ (L.min <sup>-1</sup> )	Range	Gemiddelde	SD
Jongens	$VO_{2,max}$ /kg (mL.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> )	1,15 - 3,59	2,26	0,7
	$W_{max}$ (Watt)	40,3 - 64,6	53,3	7,0
	$O_2$ polis (mL.slag <sup>-1</sup> )	100 - 320	184,8	61,5
	$VE_{max}$ (L.min <sup>-1</sup> )	6,3 - 18,1	11,7	3,5
	RER <sub>max</sub>	45,2 - 149,5	80,4	26,7
	HF <sub>max</sub> (slagen.min <sup>-1</sup> )	1,0 - 1,3	1,2	0,1
	HF <sub>rust</sub> (slagen.min <sup>-1</sup> )	181 - 206	192,3	7,5
	HF <sub>herstel30</sub> (slagen.min <sup>-1</sup> )	72 - 125	99,6	12,7
	HF <sub>herstel60</sub> (slagen.min <sup>-1</sup> )	14 - 52	33,5	10,2
	HF <sub>herstel90</sub> (slagen.min <sup>-1</sup> )	33 - 88	59,1	13,71
Meisjes	$VO_{2,max}$ (L.min <sup>-1</sup> )	1,23 - 4,14	2,14	0,76
	$VO_{2,max}$ /kg (mL.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> )	33,6 - 56,7	44,1	6,1
	$W_{max}$ (Watt)	100 - 347	183,1	70,4
	$O_2$ polis (mL.slag <sup>-1</sup> )	6,4 - 21,7	11,1	4,1
	$VE_{max}$ (L.min <sup>-1</sup> )	44,6 - 144,3	74,6	25,8
	RER <sub>max</sub>	1,0 - 1,3	1,2	0,1
	HF <sub>max</sub> (slagen.min <sup>-1</sup> )	180 - 212	194,3	6,8
	HF <sub>rust</sub> (slagen.min <sup>-1</sup> )	85 - 135	106,1	12,4
	HF <sub>herstel30</sub> (slagen.min <sup>-1</sup> )	12 - 49	26,7	9,3
	HF <sub>herstel60</sub> (slagen.min <sup>-1</sup> )	25 - 67	46,4	10,7

Legenda:  $VO_{2,max}$ : maximale zuurstofopname;  $VO_{2,max}$ /kg: maximale zuurstofopname per kilogram lichaamsgewicht;  $W_{max}$ : maximale vermogen;  $O_2$  polis: zuurstofpolis,  $VE_{max}$ : maximale ademminuutvolume, RER<sub>max</sub>: maximale respiratoire exchange ratio, HF<sub>max</sub>: maximale hartfrequentie; HF<sub>rust</sub>: rusthartfrequentie; HF<sub>herstel30</sub>: herstel hartfrequentie 30 seconden na maximale inspanning; HF<sub>herstel60</sub>: herstel hartfrequentie 1 minuut na maximale inspanning.

Tabel 2. Inspanningskarakteristieken van de onderzochte populatie.

Verder werd het maximale vermogen ( $W_{\max}$ ; Watt) geregistreerd, als zijnde de hoogste weerstand die de proefpersoon tijdens de maximale inspanningstest kon bereiken. Variabelen, van belang voor dit onderzoek waren: maximale zuurstofopname, maximaal vermogen, maximale hartfrequentie, hartfrequentieherstel, maximaal zuurstofverbruik gecorrigeerd voor lichaamsgewicht, zuurstofpols, maximale ademminuutvolume en maximale respiratoire exchange ratio. De maximale zuurstofopname ( $VO_{2\max}$ ;  $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) en de maximale hartfrequentie ( $HF_{\max}$ ; slagen- $\text{min}^{-1}$ ) werden berekend door het gemiddelde te nemen van de zuurstofopname en de hartfrequentie over de laatste 20 seconden van de maximale inspanningstest. Het hartfrequentieherstel werd berekend na 30 en 60 seconden herstel: maximale hartfrequentie min de hartfrequentie op 30 en 60 seconden na beëindigen van de maximale inspanningstest ( $HF_{\text{herstel}30}$  versus  $HF_{\text{herstel}60}$ ; slagen- $\text{min}^{-1}$ ). De  $VO_{2\max}/\text{kg}$  ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) staat voor de zuurstofopname gecorrigeerd voor lichaamsgewicht. De zuurstofpols ( $O_2\text{pols}$ ;  $\text{mL} \cdot \text{slag}^{-1}$ ) is de hoeveelheid zuurstof die per hartslag opgenomen wordt. Het maximale ademminuutvolume ( $VE_{\max}$ ;  $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) is het product van het ademvolume maal de ademfrequentie. De respiratoire exchange ratio wordt berekend als de verhouding tussen  $VCO_2$  en de  $VO_2$ , en is een indicator voor het gebruikte substraat tijdens de inspanning (koolhydraten of vetten). Tabel 2 geeft de inspanningskarakteristieken weer naar geslacht van de onderzochte populatie.

**Statistische analyse**

Alle data werden geanalyseerd in SPSS 9.0 voor windows. Een lineaire regressieanalyse werd gebruikt om de relatie te beschrijven tussen de antropometrische parameters (gewicht, lengte, leeftijd) en de aërobe inspanningsparameters ( $VO_{2\max}$ ,  $W_{\max}$ ,  $HF_{\max}$ ,  $HF_{\text{herstel}30}$ ,  $HF_{\text{herstel}60}$ ,  $VO_{2\max}/\text{kg}$ ,  $O_2\text{pols}$ ,  $VE_{\max}$  en  $RER_{\max}$ ). De verschillen tussen jongens en meisjes werden getoetst met een onafhankelijke T-test voor gemiddelden. Het significantieniveau bedroeg  $p < 0,05$  bij alle statistische testen.

**RESULTATEN**

**Antropometrische karakteristieken**

De antropometrische karakteristieken van de onderzochte populatie staan in Tabel 1. Er waren vier kinderen die hoger dan twee standaarddeviaties scoorden voor gewicht naar lengte, deze kinderen participeerden in sport (twee hockeyers, een schaatsster en een wielrenster).

Gemiddeld gewicht en lengte van jongens ten opzichte van

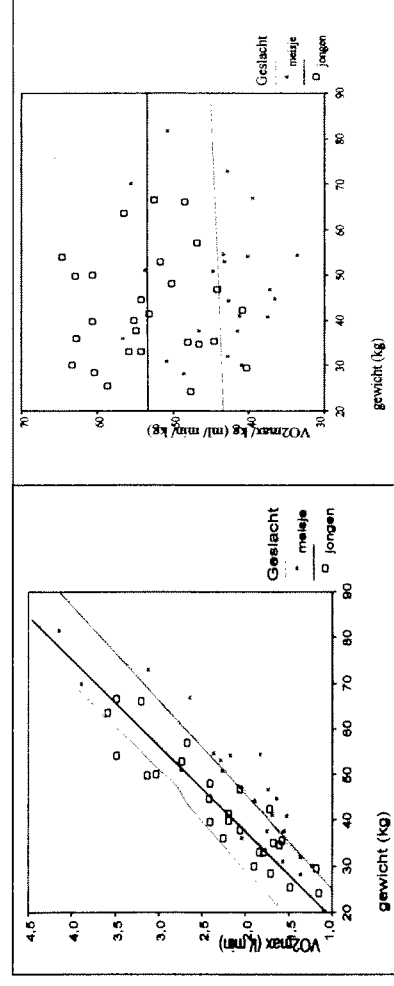
meisjes bleek niet significant verschillend (6 kg,  $p=0,1$ ; 2 cm,  $p=0,6$ ). De BMI ( $p=0,01$ ) en de som van de zeven huidplooien ( $p=0,005$ ) waren bij de meisjes wel significant hoger dan bij de jongens. Dit geeft aan dat de meisjes een hoger vetpercentage hadden dan de jongens. De absolute zuurstofopname verschilde niet significant tussen jongens en meisjes ( $p=0,56$ ), maar wanneer de zuurstofopname werd uitgedrukt per kilogram lichaamsgewicht (relatieve zuurstofopname) was het verschil tussen jongens en meisjes wel significant ( $p=0,00001$ ). Ook de hartfrequenties 30 en 60 seconden na inspanning verschilden significant tussen jongens en meisjes ( $p=0,017$ ;  $p=0,001$ ); jongens herstelden na de maximale inspanning sneller dan meisjes. De zuurstofpols verschilde niet significant tussen jongens en meisjes. De gemiddelde maximale hartfrequentie voor gezonde kinderen lag rond de 193 slagen per minuut en in ieder geval boven de 190 slagen- $\text{min}^{-1}$ . Het 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de maximale respiratoire exchange ratio liet zien dat gezonde kinderen gemiddeld een waarde konden bereiken van  $\pm 1,15$  en in ieder geval boven de 1,0 uitkwamen.

**Inspanningskarakteristieken**

In Tabel 3 en 4 worden de regressieparameters weergegeven: helling en intercept van de regressielijn, de R-kwadraat ( $R^2$ ) en Standard Error of the Estimate (SEE). In de laatste kolom staat de significantie weergegeven van de te toetsen onafhankelijke variabele (gewicht, lengte of leeftijd) in relatie tot de afhankelijke variabele.

Figuur 1a en 1b geven van enkele variabelen (maximale zuurstofopname en relatieve maximale zuurstofopname) de relatie weer met gewicht. Deze variabelen zijn van alle variabelen het meest typerend voor het maximale inspanningsvermogen bij kinderen.

Uit de resultaten blijkt dat de maximale zuurstofopname, de maximale belasting, de zuurstofpols en het maximale ademminuutvolume toenemen naarmate gewicht, lengte en leeftijd toenemen (Tabel 3 en 4 en Figuur 1a). De hartfrequentie



Figuur 1a, b: Inspanningsparameters  $VO_{2\max}$  en  $VO_{2\max}/\text{kg}$  in relatie tot lichaamsgewicht

$$VO_{2\max} - p(\text{gewicht}) = 605 \times \text{gewicht} + 0,051$$

$$(VO_{2\max} - \text{gewicht}) / SEE$$

## WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK

Variabelen	Helling	Intercept	R <sup>2</sup>	SEE	Sig.
<b>VO<sub>2max</sub></b>					
Jongens	Gewicht	0,01	0,83	0,3	0,001
	Lengte	-4,0	0,77	0,35	0,001
	Leeftijd	-1,0	0,77	0,35	0,001
Meisjes	Gewicht	-0,2	0,83	0,3	0,001
	Lengte	-5,6	0,72	0,4	0,001
	Leeftijd	-0,7	0,62	0,5	0,001
<b>W<sub>max</sub></b>					
Jongens	Gewicht	-16,36	0,79	28,8	0,001
	Lengte	-377,75	0,73	32,6	0,001
	Leeftijd	-119,2	0,77	30,5	0,001
Meisjes	Gewicht	-34,1	0,84	28,8	0,001
	Lengte	-554,36	0,77	34,7	0,001
	Leeftijd	-91	0,69	40,1	0,001
<b>VF<sub>max</sub></b>					
Jongens	Gewicht	-1,02	0,75	13,5	0,001
	Lengte	-157,69	0,77	13,1	0,001
	Leeftijd	-37,98	0,7	14,9	0,001
Meisjes	Gewicht	10,49	0,55	17,8	0,001
	Lengte	-127,52	0,43	19,9	0,001
	Leeftijd	4,53	0,34	21,5	0,004

Legenda: VO<sub>2max</sub>: maximale zuurstofopname, W<sub>max</sub>: maximale vermogen, VF<sub>max</sub>: maximale ademniutvolume, R<sup>2</sup> = het kwadraat van de regressie-coëfficiënt R, SEE = standard error of the estimate. Een regressielijn kan als volgt worden samengesteld: Y = Helling · X + Intercept.

Tabel 3. Regressieparameters.

tie 30 en 60 seconden na inspanning nemen juist af naarmate gewicht, lengte en leeftijd toenemen (Tabel 4). Tussen de maximale hartfrequentie, de relatieve zuurstofopname, de maximale respiratoire exchange ratio en gewicht, lengte en leeftijd kon geen significant lineair verband aangetoond worden. Deze variabelen bleven constant naarmate gewicht, lengte en leeftijd toenamen. Alleen bij meisjes kon een significant verband aangetoond worden tussen maximale hartfrequentie en leeftijd, maar de samenhang tussen deze variabelen was niet groot (R<sup>2</sup>=0,135, p=0,047). Uit Figuur 1b blijkt ook dat de relatieve zuurstofopname constant blijft naarmate het gewicht toeneemt.

Uit Tabel 3 en 4 blijkt ook dat de maximale zuurstofopname, de maximale belasting en de zuurstofpols het beste voorspeld werden door gewicht bij jongens en bij meisjes (hoogste R<sup>2</sup> en laagste SEE en p-waarde), maar ook lengte en leeftijd vormden significante voorspellers. Het maximale ademniutvolume werd bij jongens het beste voorspeld door lengte (R<sup>2</sup>=0,8; p<0,0001) en bij meisjes het beste door gewicht (R<sup>2</sup>=0,5; p=0,00006). Maar het verschil in significantie en samenhang tussen gewicht, lengte en leeftijd is zo klein, dat alle drie de variabelen goede voorspellers vormen van het maximale ademniutvolume (Tabel 3: p≤0,004 voor alle regressielijnen). De hartfrequentie 30

Variabelen	Helling	Intercept	R <sup>2</sup>	SEE	Sig.
<b>HF<sub>herstel30</sub></b>					
Jongens	Gewicht	51,09	0,24	9,1	0,01
	Lengte	85,65	0,25	9,0	0,01
	Leeftijd	58,68	0,22	9,2	0,01
Meisjes	Gewicht	40,24	0,17	10,1	0,05
	Lengte	70,62	0,12	10,3	0,1
	Leeftijd	46,25	0,17	10,1	0,05
<b>HF<sub>herstel60</sub></b>					
Jongens	Gewicht	81,76	0,22	12,4	0,01
	Lengte	126,31	0,23	12,3	0,01
	Leeftijd	94,89	0,24	12,2	0,01
Meisjes	Gewicht	56,4	0,08	10,5	0,2
	Lengte	86,54	0,1	10,4	0,1
	Leeftijd	65,23	0,14	10,1	0,01
<b>O<sub>2pols</sub></b>					
Jongens	Gewicht	0,27	0,85	1,4	0,001
	Lengte	20,35	0,78	1,7	0,001
	Leeftijd	1,38	0,79	1,7	0,001
Meisjes	Gewicht	0,26	0,84	1,7	0,001
	Lengte	26,32	0,72	2,2	0,001
	Leeftijd	1,20	0,64	2,5	0,001

Legenda: HF<sub>herstel30</sub>: herstel hartfrequentie 30 sec na maximale inspanning; HF<sub>herstel60</sub>: herstel hartfrequentie 1 minuut na maximale inspanning, O<sub>2pols</sub>: zuurstofpols, R<sup>2</sup> = het kwadraat van de regressie coëfficiënt R, SEE = standard error of the estimate. Een regressielijn kan als volgt worden samengesteld: Y = Helling · X + Intercept.

Tabel 4. Regressieparameters van de HF<sub>herstel30</sub>, HF<sub>herstel60</sub> en zuurstofpols.

seconden na inspanning werd bij jongens het beste voorspeld door lengte (R<sup>2</sup>=0,25; p=0,008) en de hartfrequentie 60 seconden na inspanning het beste door leeftijd (R<sup>2</sup>=0,24; p=0,009), maar gewicht, lengte en leeftijd vormden alle drie significante voorspellers (Tabel 4). Bij meisjes kon er geen significante relatie aangetoond worden tussen de hartfrequentie 30 en 60 seconden na inspanning en de onafhankelijke variabelen.

## DISCUSSIE

Omdat de bestaande referentiewaarden niet altijd representatief zijn voor de Nederlandse jeugd anno 2004,<sup>3,4,9,12</sup> was het doel van deze studie het beschrijven van aërobe inspanningsparameters van gezonde kinderen van 8 tot 16 jaar oud. De kinderen uit onze onderzoeksgroep zijn niet atleetdom geselecteerd. Alle kinderen zijn fysiek actief en/of getraind in fysieke activiteit. Onderzoek heeft aangetoond dat zelf geselecteerde onderzoeksgroepen voor een inspanningstest een 5 tot 10% hoger fitheidsniveau hebben dan een at random gekozen populatie.<sup>15</sup> De verkregen regressievergelijkingen kunnen, net als longfunctiematen, gebruikt worden om verkregen waarden bij kinderen mee te vergelijken. Met behulp van de regressievergelijkingen kan een

voorspelde waarde worden berekend om daarna bijvoorbeld een percentage te voorspellen.

### *Volwassenen versus kinderen*

Voor volwassenen bestaan er wel verscheidene referentiewaarden van aërobe inspanningsparameters,<sup>6,10,17,24,27</sup> maar deze zijn niet representatief voor kinderen. De maximale zuurstofopname neemt bij kinderen voornamelijk toe doordat gewicht en lengte toenemen als gevolg van een toename van fysieke groei en ontwikkeling.<sup>7,13,22</sup> Wanneer bij volwassenen de maximale zuurstofopname toeneemt is dit geen gevolg van fysieke groei, maar van een toegenomen fysieke fitheid. Bij volwassenen is de relatieve zuurstofopname de meest nauwkeurige parameter van de cardiovasculaire fitheid.<sup>22</sup> Bij kinderen blijft de relatieve zuurstofopname juist constant naarmate het uithoudingsvermogen substantieel verbetert, omdat gewicht, lengte en leeftijd de primaire determinanten vormen van toename in het uithoudingsvermogen.<sup>21</sup> Ook het herstel van de hartfrequentie na inspanning verschilt tussen volwassenen en kinderen en is bij kinderen sneller<sup>1,16</sup> door een verhoogde cholinerge activiteit,<sup>16</sup> verminderde zuur-base verstoring en lagere catecholamine niveaus.<sup>1</sup>

### *Maximale zuurstofopname*

Aërobe inspanningsparameters verbeteren naarmate de fysieke groei en ontwikkeling bij kinderen toeneemt. Gewicht, lengte en leeftijd zouden daarom goede voorspelers kunnen zijn van de aërobe parameters. Enkele studies hebben laten zien dat het maximale vermogen en de maximale zuurstofopname goed voorspeld werden door de vetvrije massa,<sup>12</sup> gewicht,<sup>5,9,12</sup> lengte en leeftijd.<sup>5,12</sup> In het algemeen geldt dat hoe zwaarder het lichaamsgewicht en hoe groter de vetvrije massa, hoe hoger de maximale zuurstofopname zal zijn.<sup>12</sup> De resultaten van onze studie zijn in overeenstemming met de resultaten uit deze studies en laten zien dat de maximale zuurstofopname en het maximale vermogen significant voorspeld worden door gewicht, lengte en leeftijd bij jongens en meisjes, waarbij het gewicht de beste voorspeller vormt (Tabel 3 en 4). De maximale zuurstofopname verschilt niet tussen jongens en meisjes ( $p=0,55$ ), wat aangeeft dat er geen verschil in fysieke fitheid bestond tussen jongens en meisjes wat betreft de maximale zuurstofopname. Niet alle studies vonden hetzelfde resultaat. Er zijn ook studies die een significant grotere maximale zuurstofopname aantoonen bij jongens. Volgens de studie van Krahenbuhl et al. bestaat er geen verschil tot de leeftijd van 12 jaar.<sup>13</sup> Vanaf die leeftijd gaat het verschil toenemen, tot een verschil van 50% bij de leeftijd van 16 jaar.<sup>13</sup> Dit verschil werd volgens deze onderzoekers veroorzaakt doordat jongens een verhoogde fysieke activiteit hebben in het dagelijks leven en een relatief grotere spiermassa ontwikkelen dan meisjes. In onze resultaten werd dit verschil wel waargenomen in de maximale zuurstofopname per kilogram



Negenendertig van de 50 kinderen beoefenden een competitieve sport, zoals judo, hockey, voetbal of badminton.

lichaamsgewicht. De verkregen resultaten voor wat betreft maximale zuurstofopname zijn vergelijkbaar met de resultaten van Binkhorst et al.<sup>4</sup> wat betreft jongens. Voor meisjes daarentegen liggen de verkregen waarden voor de maximale zuurstofopname vanaf 13-14 jaar in dit onderzoek hoger dan die van Binkhorst et al.<sup>4</sup>

### *Maximale zuurstofopname per kilogram lichaamsgewicht*

In ons onderzoek werd geen significante relatie gevonden tussen maximale zuurstofopname per kilogram lichaamsgewicht en gewicht, lengte en leeftijd. De maximale zuurstofopname per kilogram lichaamsgewicht bleef constant tijdens de fysieke groei en ontwikkeling van kinderen (Tabel 3 en Figuur 1b). Resultaten uit andere studies<sup>2,3</sup> hebben dit ook laten zien, maar er zijn ook studies die hebben aangevoerd dat meisjes een lichte daling vertonen in de relatieve zuurstofopname en jongens een lichte stijging naarmate gewicht, lengte en leeftijd toenemen.<sup>13</sup> Dat de relatieve zuurstofopname bij jongens significant hoger ligt dan bij meisjes geeft aan dat jongens per minuut per kilogram lichaamsgewicht meer zuurstof op kunnen nemen. Dit verschil wordt veroorzaakt door een grotere opstapeling van subcutaan vet bij meisjes, waardoor het lichaamsgewicht wel toeneemt, maar niet het maximale zuurstofverbruik.<sup>13</sup> Dit wordt ook gereflecteerd door de significant grotere som van de zeven huidplooiën en BMI bij meisjes.

### *Maximale hartfrequentie*

De maximale hartfrequentie bij kinderen kan niet voorspeld worden door leeftijd, zoals in de rekenkundige formule bij volwassenen (maximale hartfrequentie = 220 - leeftijd). De maximale hartfrequentie blijft bij kinderen constant en begint pas na de puberteit te dalen.<sup>4,7</sup> Dit bleek ook uit de

resultaten van onze studie; alleen leeftijd vormde een significante voorspeller van de maximale hartfrequentie bij meisjes. De maximale hartfrequentie tussen jongens en meisjes was niet significant verschillend ( $p=0,337$ ). In de studie van Pels et al.<sup>14,18</sup> en Mahon et al.<sup>14,18</sup> werd hetzelfde fenomeen waargenomen. In onze studie lag de rusthartfrequentie bij jongens lager dan bij meisjes (niet significant) en vormde de rusthartfrequentie ook een significante voorspeller van de maximale hartfrequentie ( $p=0,008$ ). Ook volgens de studie van Mahon et al. vormde de rusthartfrequentie een goede voorspeller van de maximale hartfrequentie, wat aangeeft dat rusthartfrequentie de belangrijkste determinant zou zijn van de maximale hartfrequentie en niet het geslacht.<sup>14</sup> Pels et al. suggereerden dat het verschil in rusthartfrequentie gerelateerd zou zijn aan een kleinere ventriculaire spiermassa bij meisjes.<sup>18</sup>

### Herstel hartfrequentie

Het herstel van de hartfrequentie is een parameter die binnen de cardiologie steeds meer wordt gebruikt om pathologie op te sporen.<sup>8</sup> Referentiewaarden over het herstel van de hartfrequentie na maximale inspanning zijn schaars. De hartfrequentie 30 en 60 seconden na inspanning konden wel bij jongens voorspeld worden door gewicht, lengte en leeftijd, maar door onverklaarbare redenen niet bij meisjes (Tabel 4). Gezien de lage verklaarde variantie (lage  $R^2$ -waarden) dient er opgemerkt te worden dat deze voorspelling niet erg nauwkeurig is. Een groot deel van de variantie tussen herstel hartfrequentie en gewicht, lengte en leeftijd is onverklaard. Net zoals in de studie van Mahon et al.<sup>14</sup> en Pels et al.<sup>18</sup> verliep het herstel van de hartfrequentie bij jongens significant sneller dan bij meisjes. Dit verschil zou veroorzaakt kunnen worden door een hoger fitheidniveau bij jongens als gevolg van een hoger activiteitsniveau dan bij meisjes,<sup>18,20</sup> of door een lagere rusthartfrequentie bij jongens.<sup>14</sup> In onze studie vormde de rusthartfrequentie een significante voorspeller van de hartfrequentie 30 seconden ( $p=0,012$ ) en 60 seconden ( $p=0,01$ ) na inspanning.

### Maximale ademminuutvolume en RER

Het maximale ademminuutvolume nam significant toe naarmate gewicht, lengte en leeftijd toenamen (Tabel 3). Gewicht, lengte en leeftijd vormden alle drie krachtige voorspellers. Dit is in overeenstemming met wat in de literatuur beschreven wordt: het maximale ademminuutvolume neemt toe tot een bepaald punt van fysieke rijpheid. Daarna neemt, naarmate de leeftijd toeneemt, het maximale ademminuutvolume weer af.<sup>28</sup> Gemiddeld genomen hebben jongens en meisjes een vergelijkbaar ademminuutvolume. Jongens en meisjes vertoonden geen verschil in maximale respiratoire exchange ratio en alle kinderen waren in staat een maximale respiratoire exchange ratio te behalen boven de 1,0 (Figuur 2b). Een van de criteria voor het bereik van een geldige maximale zuurstofopname is het bereik

ken van een respiratoire exchange ratio boven de 1,0.<sup>13</sup> De maximale respiratoire exchange ratio bleef constant naarmate gewicht, lengte en leeftijd toenamen.

### Beperkingen

Een van de beperkingen van deze studie is dat deze is uitgevoerd met een relatief kleine proefpersoonpopulatie. Een vervolgstudie zou een grotere populatie moeten includeren. Verder zouden er ook groepen met allochtone kinderen moeten worden meegenomen, onder andere van Turkse, Marokkaanse en Surinaamse origine, daar deze kinderen waarschijnlijk een andere inspanningsrespons hebben in vergelijking met Nederlandse kinderen van autochtone komaf.<sup>25</sup>

### CONCLUSIE

Deze beschrijvende studie bij gezonde kinderen laat zien dat inspanningsparameters voorspeld kunnen worden door gewicht, lengte, leeftijd en geslacht. Hierdoor wordt het mogelijk om in de sportmedische praktijk een waardeoordeel te geven aan de prestatie van een proefpersoon of patiënt, geleverd tijdens een maximale inspanningstest op een fietsergometer. Doordat gewicht, lengte en leeftijd allen ongeveer even goede voorspellers blijken te zijn, is het voor de inspanningsfysioloog eenvoudig het resultaat van een inspanningstest te interpreteren bij klinische beelden (chronische ziektes), waar als gevolg van ziekte of medische behandeling één van de parameters afwijkt.

### REFERENTIELIJST

1. Baraldi E, Cooper C, Zancanato S, Armon Y. Heart rate recovery form 1 minute of exercise in children and adults. *Pediatr Res* 1991;29:575-579.
2. Bink B, Wafelbakker F. Physical working capacity at maximum levels of work, of boys 12-18 years of age. *Z Arztl Fortbild (Jena)* 1968;62:957-961.
3. Binkhorst RA, Saris WH, Noordloos AM, van 't Hof MA, de Haan AF (eds). Maximal oxygen consumption of children (6 to 18 years) predicted from maximal and submaximal values in treadmill and bicycle tests. *Champaign: Human Kinetics*, 1985.
4. Binkhorst RA, van 't Hof MA, Saris WHM. Maximale inspanning door kinderen; referentiewaarden voor 6-18 jarige meisjes en jongens [Maximal exercise in children; reference values girls and boys, 6-18 year of age]. Den Haag: Nederlandse Hartstichting, 1992.
5. Boileau RA, Bonen A, Heyward VH, Massey BH. Maximal aerobic capacity on the treadmill and bicycle ergometer of boys 11-14 years of age. *J Sports Med Phys Fitness* 1977;17:153-62.
6. Bonen A, Shaw SM. Recreational exercise participation and aerobic fitness in men and women: analysis of data from a national survey. *J Sports Sci* 1995;13:297-303.
7. Braden DS, Carroll JF. Normative cardiovascular responses to exercise in children. *Pediatr Cardiol* 1999;20:4-10.

8. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart rate Recovery Immediately after Exercise as a Predictor of Mortality. *N Engl J Med* 1999;341:1351-1357.
9. Cooper DM, Weiler-Ravell D, Whipp BJ, Wasserman K. Aerobic parameters of exercise as a function of body size during growth in children. *J Appl Physiol* 1984;56:628-634.
10. Fairbairn MS, Blackie SP, McElvaney NG, Wiggs BR, Pare PD. Prediction of heart rate and oxygen uptake during increment and maximal exercise in healthy adults. *Chest* 1994;105:1365-1369.
11. Gerver W, De Bruin R. Pediatric Morphometrics. a reference manual. Utrecht: Bunge 1996.
12. Gulmans VA, de Meer K, Binkhorst RA, Helder PJ, Saris WH. Reference values for maximum work capacity in relation to body composition in healthy Dutch children. *Eur Respir J* 1997;10:94-97.
13. Krahenbuhl GS, Skinner JS, Kohrt WM. Developmental aspects of maximal aerobic power in children. *Exerc Sport Sci Rev* 1985;13:503-538.
14. Mahon AD, Anderson CS, Molly JH, Hunt KA. Heart rate recovery from submaximal exercise in boys and girls. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:2093-2097.
15. Mitchell JH, Saltin B. The oxygen transport system and maximal oxygen uptake. In: Tipton CM, editor. *Exercise Physiology. People and Ideas*. Oxford: Oxford University Press 2003;255-291.
16. Ochuchi H, Suzuki H, Yasuda K, Arakaki Y, Echigo S, Kamiya T. Heart rate recovery after exercise and cardiac autonomic nervous activity in children. *Pediatr Res* 2000;47:329-335.
17. Paterson DH, Cunningham DA, Koval JJ, St croix CM. Aerobic fitness in a population of independently living men and women aged 55-86 years. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:1813-1820.
18. Pels AE, Gilliam TB, Freedson PS, Geenen DL, Macconnie SE. Heart rate response to bicycle ergometer exercise in children ages 6-7 years. *Med Sci Sports Exerc* 1980;13:299-302.
19. Pollack ML, Schmidt DH, Jackson AS. Measurement of cardio-respiratory fitness and body composition in the clinical setting. *Compr Ther* 1980;6:12-27.
20. Riddoch CJ, Andersen BL, Wedderkopp N, Harro M, Klasson-Heggebo, Sardinha LB, et al. Physical activity levels and patterns of 9- and 15-yr-old European children. *Med Sci Sports Exerc* 2003;36:86-92.
21. Rowland TW. Oxygen uptake and endurance fitness in children: A developmental perspective. *Pediatr Exerc Sci* 1989;1:313-328.
22. Rowland TW. Aerobic responses to physical training in children. In: Shepard RJ, Astrand P-O, editors. *The encyclopedia of sports medicine: endurance in sports*. Oxford: Blackwell scientific publications 1992:377-384.
23. Shepard RJ, Allen C, Benade AJ, Davies CI, Di Prampero PE, Hedman R, et al. The maximum oxygen intake. An international reference standard of cardiorespiratory fitness. *Bull World Health Organ* 1968;38:757-764.
24. Shvartz E, Reibold RC. Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years: a review. *Aviat Space Environ Med* 1990;61:3-11.
25. Trowbridge CA, Gower BA, Nagy TR, Hunter GR, Treuth MS, Goran ML. Maximal aerobic capacity in African-American and Caucasian prepubertal children. *Am J Physiol* 1997;273:E809-814.
26. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ. Principles of exercise testing and interpretation (3e ed). Baltimore: Lippincott, Williams & Wilkins 1999.
27. Weller IM, Thomas SG, Corey PN, Cox MH. Prediction of maximal oxygen uptake from a modified Canadian aerobic fitness test. *Can J Appl Physiol* 1993;18:175-188.
28. Wilmore JH, Costill DL. *Physiology for sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics 1999.

**OVER DE AUTEURS**

Pauline van Leeuwen was ten tijde van dit onderzoek student Bewegingswetenschappen aan de Universiteit Maastricht en stagiaire op de afdeling Kinderfysiotherapie en Pediatrische Inspanningsfysiologie. Thans is zij student Geneeskunde in het versnelde SUMMA-curriculum aan de Universiteit Utrecht. Dr. Janjaap van der Net is als seniorkinderfysiotherapeut en wetenschappelijk medewerker verbonden aan de afdeling Kinderfysiotherapie en Pediatrische Inspanningsfysiologie, Wilhelmina Kinderziekenhuis, Universitair Medisch Centrum Utrecht. Professor dr. Paul Helder is hoofd van deze afdeling en hoogleraar Fysiotherapie aan de Universiteit Utrecht. Dr. Tim Takken is als klinisch inspanningsfysioloog verbonden aan de afdeling Kinderfysiotherapie en Pediatrische Inspanningsfysiologie.

Correspondentieadres: Dr. T. Takken, Wilhelmina Kinderziekenhuis, Universitair Medisch Centrum Utrecht, Huispost: KBo2.056.0, Postbus 85090, 3508 AB Utrecht. Tel: 030-2504030, fax: 030-2505333. Email: t.takken@wzk.azu.nl, <http://www.kinderfysiotherapie.wzk.nl>